

管道清灰机器人系统设计

张淑珍 杨 萍 袁晓鹏 (兰州理工大学 机电工程学院 兰州 730050)

Design of in - pipe clearing ash robot system

ZHANG Shu - zhen, YANG Ping, YUAN Xiao - peng

(College of Mechano - Electronic Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

【摘要】提出采用履带式管道清灰机器人解决冶炼厂烟道积灰的清除方案。详细阐述了清灰机器人结构和驱动方式。从机构学角度分析了操作臂运动特性,给出了操作臂作业的几个特殊位置,分析了操作臂死点位置,提出避免死点的方法。

关键词:管道清灰;机器人;履带式;运动特性

【Abstract】Based on In - pipe clearing ash robot in exhaust gas pipeline of metal smeltery object, the scheme of in - pipe clearing ash robot with track to clean out ash in pipe is put forward. Configuration and driver of the robot is explained. Kinematics characteristic and several especial locations for operating arm are analyzed, as well as dead point of the mechanism and means how to keep away from it is given.

Key words: In - pipe clearing ash; Robot; Tracked; Kinematics characteristic

中图分类号:TH112.2 TP39 文献标识码:A

管道机器人是一种可沿管道自动行走,携有一种或多种传感器件和作业机构,在遥控操作或计算机控制下在极其恶劣的环境中进行一系列管道作业的机电一体化系统。

目前国内外关于管道机器人的研究很多,大多是管道监测维修,适应于 $\Phi 200\text{mm}$ 以下、 $\Phi 400 \sim 600\text{mm}$ 以及微型管道等管径。关于管道清洁机器人,中科院研发了用于 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 和 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的空调通风管道中的清洁机器人。而本文根据金属冶炼厂烟气管道内特殊环境和清灰技术要求开发了一种适应于金属冶炼厂 $\Phi 700 \sim 1000\text{mm}$ 的烟气输送管道烟灰堆积层清理的管道清灰机器人。

1 管道清灰机器人系统设计

1.1 管道清灰机器人工作环境和清灰要求

(1)距熔炼炉出口 500m 左右管道底部每周可形成约 100mm 烟灰堆积层(成分:铜 50% 、镍 4% 、硫 15% 、二氧化硅 12%)

(2)烟灰密度 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$;

(3)管道中有水平、小于 30° 、 3.4 倍管道直径弯曲三种形式;

(4)管道底部每隔一段距离有一可自动打开的清灰口,供机器人倒灰。

1.2 结构设计

管道清灰机器人系统包括移动装置、操作臂、传感器系统、机器人控制系统等。本体结构由移动装置和操作臂组成。

管道清灰作业是由机械臂末端操作器随着机器人的前进将沉积在管道底部的堆积物铲削、装载、运输到出灰口并且卸掉的一系列作业。针对烟灰沉积物堆积在管道底部,且密度较大、厚度较大,沉积物类似砂状的情况,移动装置采用履带式移动机构,可保证机器人行走的稳定性和附着力,不至于陷在灰内或打滑。该移动机构由三个呈 120° 的履带轮组成,履带装置为可伸缩的,保证三个履带全部接触到管壁,增加管道机器人在不同管径行走的稳定性。

操作臂主要由铲斗、大臂、摇臂、拉杆、转斗油缸、举升油缸等组成。铲斗用来铲装灰物,动臂和举升油缸用来提升铲斗,转斗油缸通过摇臂、拉杆使铲斗转动。操作臂具有 2 个自由度,可实现臂旋转、抬高运动。该机器人主要完成对 $\Phi 700 \sim 1000\text{mm}$ 管道内砂状沉积物的清理,同时为实现机器人的通用性,该机器人的操作臂上方安装摄像机和探测仪器可实现对管道内部的检测,同时根据作业要求可将操作臂前方的铲斗更换为其它不同的操作器,完成其他作业。机器人本体结构如图1所示。

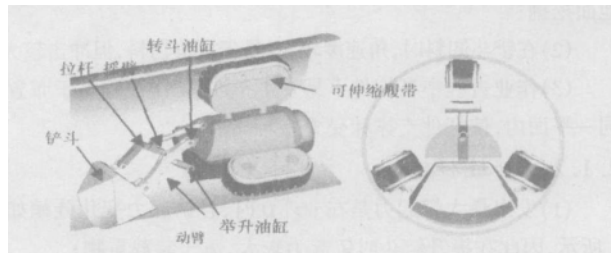


图1 管道清灰机器人本体结构

Fig1. Structure of in - pipe clearing ash robot

1.3 管道清灰机器人驱动方式

移动机构底部与管壁接触的两履带分别由两个步进电机驱动,机器人水平状态由携带的角度传感器来检测,并不断调整两侧履带的速度保证机器人在直管或弯管内稳定行驶。可伸缩履带采用液压驱动方式。

该机器人的铲掘和装卸物料的作业都是通过操作臂来完成的,因此操作臂的设计要达到下列要求:

(1)应使铲斗在管道底部铲掘位置能产生较大的铲起力;

(2)应保证铲斗从铲起、举升到运输过程中,其转角差不得超出一定范围,以免物料撒落;

(3)应使铲斗在动臂举升过程中的各个位置,其卸载角不小

于一定值,以保证卸料干净;

(4) 操作臂在整个运动过程中,应满足传动角的要求,保证运动轻巧,不得出现死点。操作臂各构件之间不允许发生运动干涉。

根据上述设计要求及液压式驱动方式的特点,操作臂的两个主动件采用液压驱动方式。

2 操作臂设计

2.1 操作臂类型选择

操作臂简化后为一平面闭环连杆机构,其上的末端操作器——铲斗的运动为平面运动。按杆数划分的连杆机构中,四连杆机构结构简单,但因动臂前端须装有自重较大的框架,减少了铲斗的载重量,且影响摄像机的视线;八连杆机构结构较复杂,铲起力变化平缓;六杆机构结构简单,容易布置,一般能较好地满足作业要求,因此在这里铲斗抬起运动采用六杆机构。按机构运动状态可将操作臂运动装置分为正转连杆和反转连杆。正转连杆机构主动构件与从动构件转向相同;反转连杆机构主动构件与从动构件转向相反,如图 2 所示。

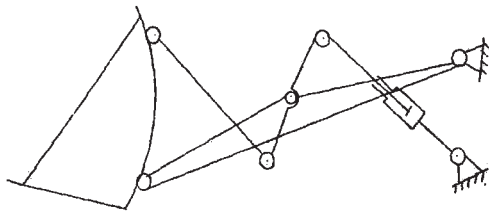


图 2 反转连杆机构

Fig. 2 Inverse link mechanism

2.1.1 正转机构特点

(1) 发出最大铲起力在 $\alpha < 0$ 时,如图 3 所示,即铲斗有利于地面挖掘;

(2) 在铲斗卸料时,角速度较大,易于抖落物料,但冲击较大;

(3) 作业过程中各构件不易发生干涉,工作装置易于布置在同一平面内,使杆件支撑和受力好。

2.1.2 反转连杆机构

(1) 发出最大铲起力是在 $\alpha > 0$ 时,且铲起力变化陡峭如图 3 所示,因此在提升铲斗时铲起力较大,适于装载重物;

(2) 铲斗卸料时,角速度小,卸料平缓;

(3) 升降动臂时较易保证铲斗平移。

由以上分析可以看出:正转六连杆机构结构简单,且能满足管道清灰机器人设计要求,即正转机构有利于地面挖掘,适合机器人有较大的铲灰力,工作装置易于布置在同一平面,有利于增加机器人运动稳定性,因此将管道清灰机器人操作臂工作装置设计为正转六连杆机构。

2.2 铲斗转角差及卸载角分析

当铲斗转角 $\alpha < 0^\circ$ 时有较大的铲起力,如图 4 左所示。机器人铲起灰物后举升到运输过程中,保证物料不撒落,主要取决于铲斗的形状,其铲斗提升状态如图 4 中所示,铲斗内灰物的重心通过铲斗底部中心线时,此时铲斗不易撒落物料。

铲斗在动臂举升过程中的最高位置时,其最大卸载角状态

如图 4 右所示,也就是当摇臂和旋转臂处于同一直线时,铲斗倾倒可达到最大的卸载角,同时与举升油缸的位置也有关,油缸与管道水平方向夹角越小,铲斗卸载角也越大,但需保证铲斗不能碰到管壁,方可保证卸料干净。

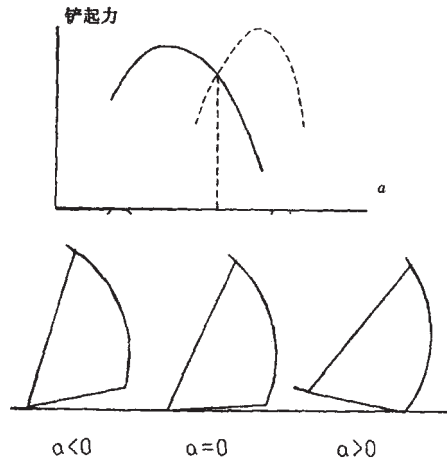


图 3 铲起力变化图

Fig. 3 Curve for force to scooping up



图 4 管道内机器人铲斗铲灰、提升及最大卸载角状态

Fig. 4 Scooping up, lifting and most uninstalling angle for shovel of robot in pipe

2.3 操作臂死点分析

管道清灰机器人操作臂机构简图如图 5 所示。已知各杆长,当转斗油缸伸缩量为一定值时,举升油缸伸缩时,大臂为主动杆,分析此时六连杆的运动特性。设 KA 为 x 轴,由 K 指向 A 为正向,将矢量闭链 AKFBA 和闭链 AKEDCBA 向 x、y 轴投影,得:

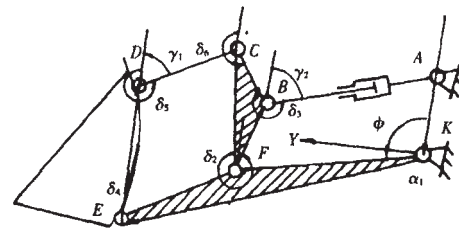


图 5 操作臂机构简图

Fig. 5 Sketch of operating arm

$$KF\cos\phi + BF\cos\delta_2 + BA\cos\delta_3 - AK = 0$$

$$KF\sin\phi + BF\sin\delta_2 + BA\sin\delta_3 = 0$$

$$KE\cos(\phi + \alpha_1) + ED\cos\delta_4 + DC\cos\delta_5 + CB\cos(\delta_2 - \alpha_2) + BA\cos\delta_3 - AB = 0$$

$$KE\sin(\phi + \alpha_1) + ED\sin\delta_4 + DC\sin\delta_5 + CB\sin(\delta_2 - \alpha_2) + BA\sin\delta_3 = 0$$

其中输入角 ϕ 为一级坐标, $\delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ 为二级坐标,由上

文章编号 :1001 - 3997(2006)08 - 0127 - 02

导向叶片的数控加工技术探讨

黄传勇 (中国民航飞行学院 航空工程学院, 广汉 618307)

The discussion about certain guided vane of numerical control machining

HUANG Chuan - yong (Civil Aviation flight University of China, Guanghan 618307, China)

【摘要】根据导向叶片叶型的造型,分析了影响叶片加工精度的各种因素,包括机床、夹具、零件等,分析了如何进行该叶片叶型的加工并最终得出零件的加工方法。

关键词: 导向叶片; 背弧; UG; 坐标系; 四轴联动

【Abstract】 By the guided vane model, the paper has analyzed factors of influencing vane machining precision, including machining tool, clamp, part. Then, the paper have discussed how to mill the vane by these factors.

Key words: Guided vane; Back arc; UG; Coordinate; Four - spindle numerically controlled

中图分类号: TG54 文献标识码: A

1 导向叶片叶型的造型

在生产实际中,有时会遇到如图 1 所示的导向叶片。这种导向叶片的结构与普通的叶片的形状与构造均不一样。

它的型面不是由几个截面串组成,而是由一个截面串沿着一段曲线拉伸形成的,它在任一高度上的截面线形状是一样的,因此采用 UG 里的 Through curves 命令已不可能,如果试着采用 Swept 命令,由一个引导串 (Guide string #1) 和一个截面串

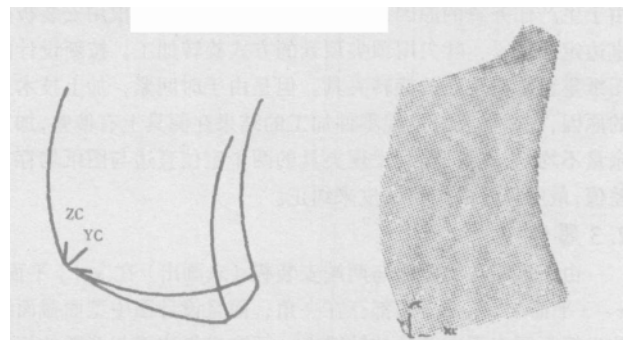


图 1 某特殊叶片结构

图 2 满足要求的切面

* 来稿日期 2005 - 10 - 19

式可求得速度矩阵表达式:

$$\begin{bmatrix} BF \sin \delta_2 & BA \sin \delta_3 & 0 & 0 \\ BF \cos \delta_2 & BA \cos \delta_3 & 0 & 0 \\ CB \sin(\delta_2 - \alpha_2) & BA \sin \delta_3 & ED \sin \delta_4 & DC \sin \delta_5 \\ CB \cos(\delta_2 - \alpha_2) & BA \cos \delta_3 & ED \cos \delta_4 & DC \cos \delta_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\delta}_2 \\ \dot{\delta}_3 \\ \dot{\delta}_4 \\ \dot{\delta}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} KF \sin \phi \\ KF \cos \phi \\ KE \sin(\phi + \alpha_1) \\ KE \cos(\phi + \alpha_1) \end{bmatrix} \dot{\phi}$$

用 $|A|$ 表示与速度矩阵相对应的系数行列式,其值为

$$|A| = \begin{vmatrix} BF \sin \delta_2 & BA \sin \delta_3 & 0 & 0 \\ BF \cos \delta_2 & BA \cos \delta_3 & 0 & 0 \\ CB \sin(\delta_2 - \alpha_2) & BA \sin \delta_3 & ED \sin \delta_4 & DC \sin \delta_5 \\ CB \cos(\delta_2 - \alpha_2) & BA \cos \delta_3 & ED \cos \delta_4 & DC \cos \delta_5 \end{vmatrix}$$

$$BF \cdot BA \sin(\delta_2 - \delta_3) \sin(\delta_4 - \delta_5) = BF \cdot BA \sin \gamma_1 \sin \gamma_2$$

其中 γ_1, γ_2 分别为闭链 AKFBA 和闭链 AKEDCBA 的传动角。

若速度方程有解,则 $|A| \neq 0$; 若速度方程无解,则 $|A| = 0$, 即 $\sin(\delta_2 - \delta_3) = 0$ 或 $\sin(\delta_4 - \delta_5) = 0$, 也就是 $\delta_2 = \delta_3$ 或 $\delta_4 = \delta_5$, $\gamma_2 = 0$, 两闭链的传动角分别为零。该位置正是六杆机构的死点,如图 6 所示。由于转斗油缸和举升油缸不能作整周回转运动,不存在当 $\delta_2 - \delta_3 = 180^\circ$ 或 $\delta_4 - \delta_5 = 180^\circ$ 时的死点位置。

为避免死点的出现,设计操作臂时,应使各杆长满足下列条件:

$$EF + DE - CD - CF \geq 0$$

$$DE + CD - CE \geq 0$$

$$CD + CF - DF \geq 0 \text{ 可避免死点和运动不确定情况的出现。}$$

$$AB_{\min} + BF \geq AF$$

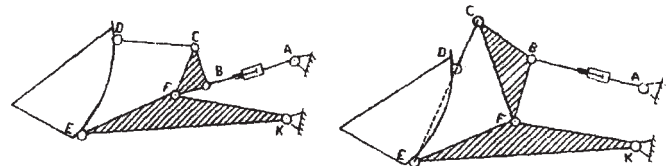


图 6 机构死点位置

Fig 6. Dead point placement for mechanism

3 结论

根据管道清灰技术要求,提出采用履带式管道清灰机器人设计方案,操作臂选用正转六连杆机构。分析了铲斗转角差和卸载角,给出铲斗最佳铲掘位置和卸载位置,分析了该机构的死点位置,提出避免死点的方法。从机构学的角度说明管道清灰机器人结构的合理性。为机器人的下一步研究提供了坚实的基础。

参考文献

- 曹惟庆, 徐曾荫. 机构设计. 北京: 机械工业出版社, 1993. 10.
- 孙桓, 陈作模主编. 机械原理. 北京: 高等教育出版社, 1998. 8.
- 胡铁华, 马成林等. 地下铲运机六杆工作机构优化设计研究. 农业机械学报, 1989. 9.